

Mira Lappalainen

MIKRO-H-CHP-LAITOKSEN KATTILAVEDEN LAATU

MIKRO-H-CHP-LAITOKSEN KATTILAVEDEN LAATU

Mira Lappalainen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Mira Lappalainen
Opinnäytetyön nimi: Mikro-H-CHP-laitoksen kattilaveden laatu
Työn ohjaajat: Timo Kiviahde, Kari Mäntyjärvi
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017
Sivumäärä: 45 + 3 liitettä

Työ on osa Kerttu Saalasti instituutin alaisuudessa toimivan Tulevaisuuden teknologiat tutkimusryhmän kansainvälistä hanketta, jonka tarkoituksena on parantaa haja-asutusalueiden omavaraisuutta. Työssä tutkitaan hankkeessa kehitetyn mikro-CHP-laitoksen kattilaveden laatua. Opinnäytetyön tavoitteena on löytää taloudellinen vaihtoehto kattila- ja lisäveden valmistukseen.

Työ suoritettiin tutkimusselvityksenä. Työn lähteinä käytettiin alan kirjallisuutta, aiheeseen liittyviä opinnäyte- ja kandidaatintöitä sekä erilaisia standardeja, kuten pohjoismaista DENÅ:a ja Suomen Standardoimisliiton julkaisemia suosituksia. Opinnäytetyössä on käsitelty mm. veden epäpuhtauksien vaikutuksia kattilapiirissä, vedenkäsittelymenetelmiä sekä erilaisten vesien soveltuvuutta laitoksen kattila- ja lisävedeksi.

Työn pohjalta ei voida yksiselitteisesti sanoa minkä laatuista tutkittavan kattilan kattilaveden tulisi olla, jotta korroosion ja kattilakiven muodostumiselta välttyttäisiin. Tutkittavan kattilan ollessa lieriötön tulisi lähtökohtaisesti laitoksessa käyttää vesiä, jotka täyttävät läpivirtauskattilalle asetetut laatuvaatimukset. Kattilan matala käyttöpaine ja -lämpötila voivat kuitenkin mahdollistaa myös huonompilaatuisen veden käytön. Taloudellisimman raakaveden vedenvalmistuksen menetelmien löytäminen vaatii kustannuslaskelmien, hintavertailujen ja tarjouspyyntöjen laatimisen.

Asiasanat: kattilavesi, mikro-CHP, vedenkäsittely, vedenlaatu

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	5
1 JOHDANTO	6
2 EPÄPUHTAUKSIEN VAIKUTUKSET	8
2.1 Korroosio	8
2.1.1 Magnetiittikalvon muodostuminen	8
2.1.2 Kupari ja muut metallit	11
2.1.3 Liuenneet kaasut	11
2.1.4 pH-arvon, alkaliteetin ja lämpötilan vaikutus	13
2.2 Kattilakivi ja kerrostumat	16
2.2.1 Suolat	17
2.2.2 Orgaaniset yhdisteet ja öljy	18
3 VEDENKÄSITTELYMENETELMÄT	20
3.1 Karkeiden ja kolloidisten epäpuhtauksien poisto	20
3.2 Kovuudenpoisto	21
3.3 Täyssuolanpoisto	23
3.4 Terminen kaasunpoisto	26
3.5 Kemikaalien lisäykset	26
4 KATTILAVEDEN LAATUVAATIMUKSET	28
5 TALOUSVEDEN SOPIVUUS KATTILAVEDEKSI	32
6 LISÄVESI	37
7 YHTEENVETO	40
LÄHTEET	43
LIITTEET	
Liite 1 SFS-standardien ja DENÅ:n suositukset kattilaveden laadulle	
Liite 2 SFS-standardin suositukset kuumavesikattilan veden laadulle	
Liite 3 Talousveden laatuvaatimukset ja Oulun ja Raahen veden mittausten tulokset	

SANASTO

Kattilavesi Luonnonkierto- tai avustetun kierron kattilassa oleva vesi

Lisävesi Järjestelmän ulkopuolelta laitteiston vesi- ja höyryhäviöitä korvaamaan tuotu vesi

Raakavesi Lisäveden valmistuksessa raaka-aineena käytetty vesi

Syöttövesi Kattilan sisäänmenoon syötettävä vesi, joka on palautetun lauhteen ja lisäveden seos

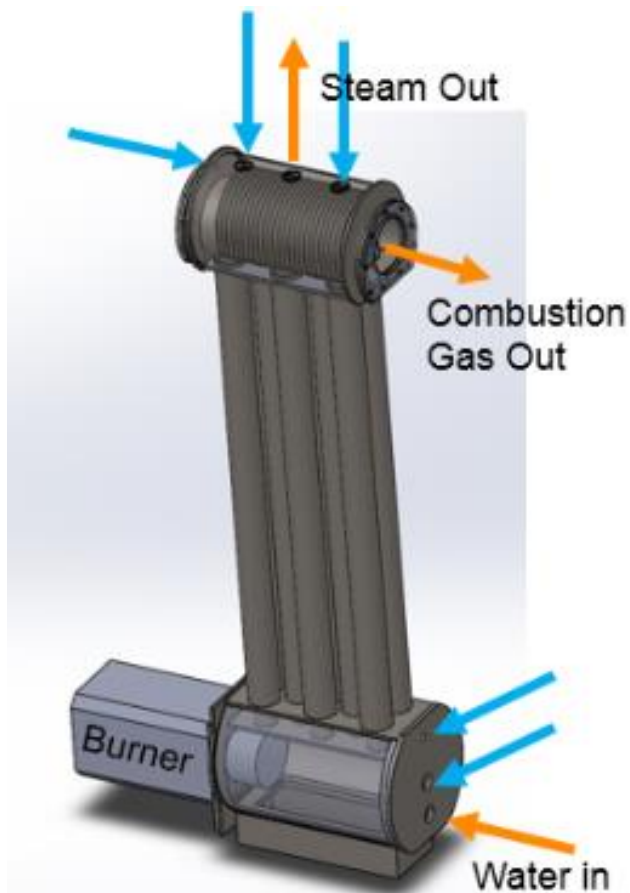
1 JOHDANTO

Työn tilaajana on Oulun yliopiston Kerttu Saalasti-instituutin alainen Tulevaisuuden teknologiat (FMT) tutkimusryhmä. Työ on osa kansainvälistä hanketta, jonka tavoitteena on parantaa haja-asutusalueiden omavaraisuutta kehittämällä omakotitalon kokoluokan mikro-CHP-laitteisto. Laitteiston tarkoituksena on kattaa kiinteistön lämpö- ja sähköenergian tarpeet. Hankkeeseen on aikaisemmin teetetty Oulun ammattikorkeakoululla opinnäytetöitä mm. kattilan ja mäntähöyrykoneen mitoituksista.

Tämän työn tavoitteena on selvittää mikro-CHP-laitteistossa käytettävän kattilaveden laatuvaatimukset ja samalla tarkastella kattilan asettamia vaatimuksia veden laadulle. Omakotitalon kokoluokan CHP-laitoksessa erityishaasteena on löytää kustannustehokkaat ratkaisut. Työn tavoitteena on löytää halvin mahdollinen vesilaatu, jota kattilassa voitaisiin käyttää. Työn ulkopuolelle on rajattu vedenkäsittelylaitteistojen hintavertailut ja kilpailutukset.

Kattilaveden laaduille on olemassa valmiita ohjearvoja ja suosituksia, esimerkiksi SFS-EN 12953-10, SFS-EN 12952-12, pohjoismainen DENÅ, VGB ja ASME. Olemassa olevat suositukset on laadittu suuremman kokoluokan kattiloille, joiden paineluokat ovat isompia. Suuremman kokoluokan kattilat vaativat yleisesti parempilaatuista vettä, jolloin kustannustehokkuuden kannalta olemassa olevia suosituksia ei ole kannattavaa soveltaa suoraan.

Laitoksen kattila on mitoitettu 14 baarin käyttöpaineelle ja 16 baarin maksimipaineelle, jolloin höyryn lämpötila jää alle 200 °C:n. Kattilatyypiksi on valikoitunut I-tyyppin vesi- ja tuliputkikattiloiden yhdistelmä, jonka rakenne on esitetty kuvassa 1. Kattilan vesi/höyrytilavuus on 62,5 l. Vesitilan ja savukaasun kontaktipinta-ala on 2,78 m². Kattilan rakenteessa on huomioitu kunnossapito suunnittelemalla kattila siten, että kattilan sisäosat ovat yläkautta helposti puhdistettavissa joustavalla harjalla.



KUVA 1 Kattilan rakenne (1, s. 9)

Kattilaveden laadulle, veden käsittelyn tarpeelle ja käytettäville menetelmille oman haasteensa luo kattilatyyppe, sillä siinä ei ole lieriötä joka mahdollistaisi epäpuhtauksien ulospuhalluksen. Lieriön puuttuminen tarkoittaa yleisesti puhtaamman veden tarvetta, mikä johtaa vaativampaan vedenkäsittelyyn ja kustannusten nousemiseen.

2 EPÄPUHTAUKSIEN VAIKUTUKSET

Kattilaveden epäpuhtaudet lyhentävät laitoksen käyttöikää ja lisäävät kustannuksia aiheuttaen mm. korroosiota ja kattilakiveä. Korrosio ja kattilakivi ovat nyky-aikana hyvin ehkäistävissä eri vedenkäsittelymenetelmillä ja kehittyneellä kattilatekniikalla. Korroosion ja kattilakiven lisäksi epäpuhtaudet voivat aiheuttaa muitakin ongelmia. Veden kiintoaineet voivat synnyttää kerrostumia pinnoille ja tukkeumia virtausvyöhykkeisiin, orgaaninen aines voi aiheuttaa kattilaveden kuohumista sekä kerrostumia ja öljy synnyttää lämmönsiirtopinnoille eristävän kalvon. Kattilaveden epäpuhtauksia ovat kalsiumkarbonaatti, magnesiumkarbonaatti, piioksidi eli silikaatti, alkalimetallit (natrium ja kalium), metallit kuten rauta, kupari ja alumiini, liuenneet kaasut happi ja hiilidioksidi, sekä orgaaniset kiintoaineet ja öljy. (2, s. 298.)

2.1 Korrosio

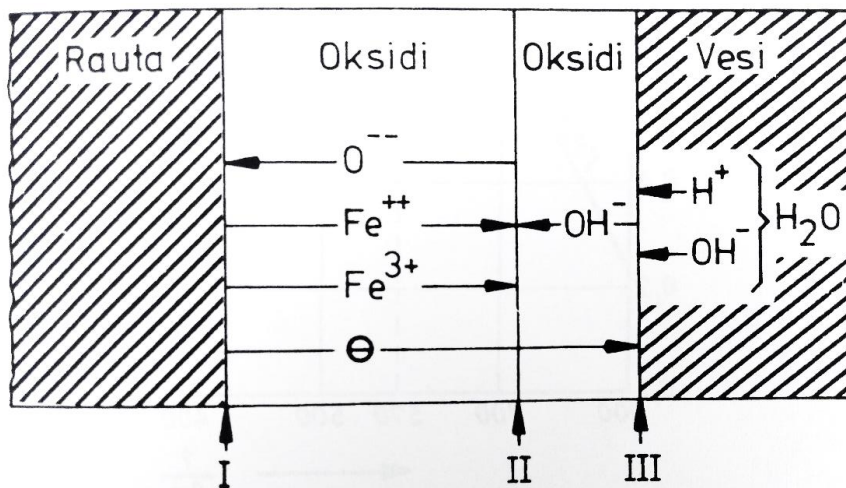
Veden epäpuhtauksista korroosiota aiheuttavat erityisesti rauta ja kupari yhdessä hapen kanssa. Lisäksi esimerkiksi hiilidioksidi aiheuttaa syöpymistä, kun se liuettessaan veteen muodostaa hiilihappoa ja sen seurauksena lauhteen pH-arvo laskee. (3, s. 26) Kattilan vesipuolen korrosio saadaan ehkäistyä muodostamalla magnetiittikalvo veden kanssa kosketuksissa oleville teräspinnoille. Tässä työssä korroosiolla tarkoitetaan kattilan vesiputkien korroosiota.

2.1.1 Magnetiittikalvon muodostuminen

Vesihöyrypiirissä tärkein rakennemateriaali on teräs. Teräksen kestämisen edellytys kattilaolosuhteissa on, että pinnalle saadaan muodostettua suojaava ja uusiutuva magnetiittikalvo. Magnetiittikalvon syntyminen edellyttää, ettei kattilavesi aiheuta kerrostumia, se ei syövytä kattilamateriaalia tai aiheuta kuohumisvaaraa ja vesi-iskuja.

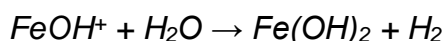
Suojaavan magnetiittikerrokseen syntyyn, paksuuteen ja sen ominaisuuksiin vaikuttavat useat tekijät, kuten veden pH-arvo, happipitoisuus, lämpötila, virtausno-

peus ja veden suolapitoisuus (4, s.4). Magnetiittikalvon muodostuminen on monimutkainen prosessi. Kuvassa 2 on yksinkertaistettu esitys magnetiittikerroksen muodostumisesta.



KUVA 2 Suojaavan oksidikalvon muodostuminen (5, s. 291)

Kuvan faasirajalla 1 tapahtuu rautaionien muodostuminen, kun rauta luovuttaa kaksi elektronia. Reaktiossa läsnä oleva happi vastaanottaa raudan luovuttamat elektronit. Syntyneet rautaionit osittain muodostavat tiiviin magnetiittikalvon ja osittain diffundoituvat kerroksen läpi. Diffundoitunut rauta reagoi matalassa lämpötilassa veden kanssa muodostaen FeOH^+ -ioneja. FeOH^+ -ionit reagoivat faasirajalla 2 veden kanssa kaavan 1 (4, s. 3) mukaisesti muodostaen rautahydroksidia ja vetyä.



KAAVA 1

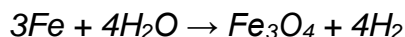
Matalassa lämpötilassa syntynyt rautahydroksidi on väriltään valkoista ja se alkaa reagoida kaavan 2 mukaisesti lämpötilan noustessa yli 60°C (4, s.3). Reaktiossa muodostuu magnetiittia.



KAAVA 2

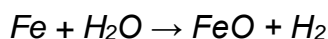
Kaavan 2 mukaista reaktiota kutsutaan Schikorr-reaktioksi. Tässä reaktiossa syntynyt oksidikerros on karkearakeinen ja sisempää kerrosta huokoisempi. Magnetiittikerroksen muodostumisnopeus on riippuvainen lämpötilasta. Alle 100°C

°C:n lämpötilassa magnetiitin muodostumisnopeus on alhainen ja pysyy melko hitaana aina 200 °C:een asti. 100–200 °C:n lämpötila-alue on korroosion hallinnan kannalta haasteellinen magnetiittikerroksen muodostumisnopeuden sekä veden dissosiaatioasteen kasvun ja ammoniakkin dissosiaatioasteen pienenemisen vuoksi. (5, s. 292). Lämpötila-alueella 250–570 °C reaktiot tapahtuvat raudan ja vesihöyryn välillä kaavan 3 mukaisesti synnyttäen magnetiittia ja vetyä.



KAAVA 3

Kaavan 4 mukainen reaktio tapahtuu yli 570 °C:n lämpötilassa. Reaktiossa syntyneellä rautaoksidilla on heikko hilarakenne, jonka läpi rautaionit pääsevät kulkeutumaan aiheuttaen metallin pinnan syöpymistä.



KAAVA 4

Tutkittavassa kattilassa ei tapahdu kaavojen 3 ja 4 mukaisia reaktioita, sillä höyryn lämpötila jää alle 200 °C:n. Oksidikalvo täyttää suojakalvon edellytykset, kun se on huokoseton ja veteen niukkaliukoinen, liukenemisen kautta veteen ei siirry haittaa aiheuttavaa määrää metallia, suojauksella saavutetaan tai ylitetään laitteen suunniteltu käyttöikä ja laitoksen vedenkäsittely kykenee ylläpitämään suojakalvon uusiutumisen vaativat olosuhteet. (5, s.291)

Magnetiittikalvo ei pysäytä korroosioreaktioiden tapahtumista kokonaan vaan tarkoittaa dynaamisen tasapainon syntymistä, jossa magnetiittia irtoaa ulommasta kerroksesta saman verran kuin sitä muodostuu uudestaan. Magnetiittikalvo uusiutuu, kun vesi diffundoituu magnetiittikalvon säröjen pohjalle. Säröt korjaantuvat itsestään, ja korroosioreaktioiden nopeus laskee merkityksettömälle tasolle. (4, s. 4)

Oksidikalvo ei saisi kasvaa liian paksuksi, sillä se toimii myös lämpöeristeenä putkipinnalla. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat jännityksiä oksidikerroksen ja me-

tallipinnan välille, koska oksidikalvon ja metallipinnan lämpölaajenemisominaisuudet poikkeavat toisistaan hyvin paljon. Tämä voi aiheuttaa magnetiittikalvon irtoamiseen liuskeina. (4, s. 6)

2.1.2 Kupari ja muut metallit

Kattilaveteen voi kulkeutua liuenneena tai kiintoaineena kuparia, sinkkiä, nikkeliä ja muita metalleja. Nämä metallit päätyvät kattilaveteen yleensä kulkeutumalla muista vesihöyrypiirin osista. Yleisin näistä on voimalaitoksissa lämmönvaihtimissa käytettävä kupari. (6, s.35) Kupari-ionin päätyessä kosketuksiin sitä epäjalomman raudan kanssa muodostuu galvaaninen sähköpari. Tällöin rauta liukee yhtälön 5 mukaisesti ja kupari saostuu raudan pinnalle yhtälön 6 mukaisesti. Hapen ollessa läsnä reaktiossa muodostuu ruostetta. (5, s. 277)



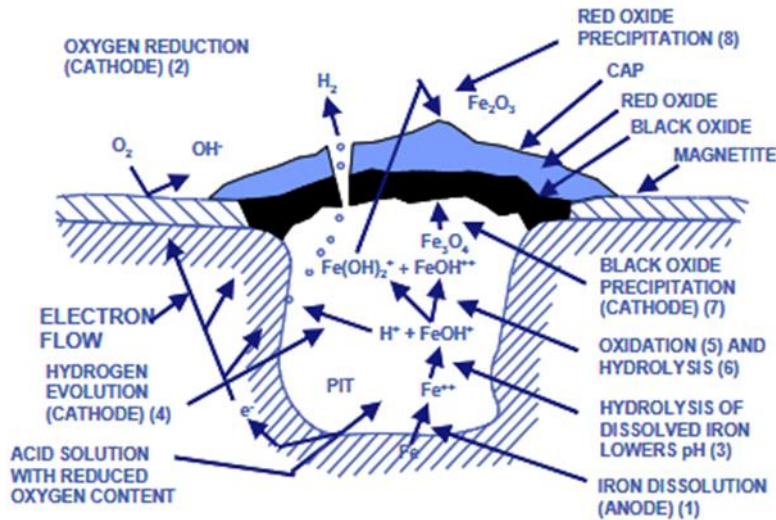
Kyseessä on siis galvaaninen korroosio, jossa kupari-ioni vastaanottaa kaksi rautaionin luovuttamaa elektronia kaavan 7 mukaisesti.



2.1.3 Liuenneet kaasut

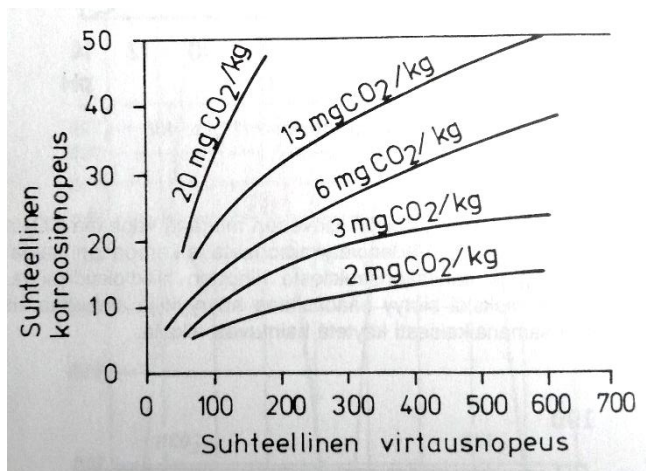
Veden happipitoisuudella on kaksitahoinen vaikutus korroosion syntyyn. Alhaisilla lämpötiloilla veteen liuennut happi muuttaa reagoidessaan rautahydroksidin ruosteeksi. Lämpötila-alueella 50–200 °C happi aiheuttaa magnetiittikerroksen muuttumisen punaruskeaksi ruosteeksi, jolla ei ole suojaavaa vaikutusta. Tätä korkeammassa lämpötilassa happi ei kuitenkaan aiheuta korroosiovaaraa, mikäli magnetiittikalvo on tiivis. (4, s.5) Oksidikalvon ollessa paikallisesti rikkoontunut ja olosuhteiden ollessa sellaiset, ettei kalvo uusiudu, syntyy paikallista korroosiota,

jossa metallin pinta toimii anodina ja oksidikalvo katodina. Kuvassa 3 on havainnollistettu liuenneen hapen aiheuttamaa paikalliskorroosiota metallin pinnalla oksidikalvon ollessa rikkoutunut. (5, s. 275)



KUVA 3 Liuenneen hapen aiheuttama raudan syöpyminen (23, s. 5)

Kattilaveteen hiilidioksidiä voi joutua lisäveden mukana vapaana CO₂:na tai vetykarbonaattina HCO₃⁻. Hiilidioksidista johtuva korroosio on muodoltaan yleisimmin happamuuden aiheuttamaa tasaista perusmateriaalin syöpymistä. Mikäli pH laskee vain paikallisesti, myös korroosio tapahtuu pienellä alueella. Korroosionhallinnan kannalta hankalin yhdistelmä on sellainen tapaus, jossa läsnä ovat sekä happi että hiilidioksidi. Happi ja hiilidioksidi yhdessä voivat muodostaa jatkuvan korroosion kiertokulun, kun hiilidioksidi muodostaa hiilihappoa reagoidessaan veden kanssa. Hiilihappo puolestaan syövyttää rautaa, minkä seurauksena muodostuu rautakarbonaattia. Rautakarbonaatti muodostaa reagoidessaan hapen kanssa rautaoksidia ja hiilidioksidiä. Sekä hapen että hiilidioksidin aiheuttamat korroosiot voimistuvat virtausnopeuden kasvaessa. Kuvassa 4 on esitetty hiilidioksidin aiheuttaman korroosion suhteellisen nopeuden riippuvuus veden suhteellisesta virtausnopeudesta. (5, s. 262; 7, s.16). Kuvasta 4 nähdään myös hiilidioksidipitoisuuden ja sen kasvun vaikutukset suhteellisen korroosionopeuden nousuun.



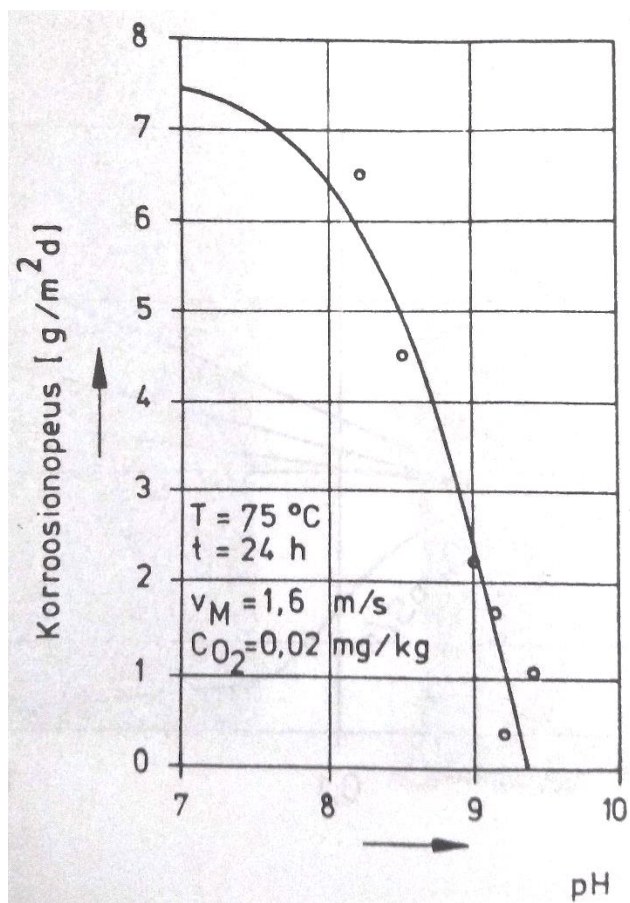
KUVA 4 Virtausnopeuden ja hiilidioksidipitoisuuden vaikutus korroosionopeuteen (5, s. 282)

2.1.4 pH-arvon, alkaliteetin ja lämpötilan vaikutus

pH-arvolla kuvataan veden happamuutta ja se kertoo vesiliuoksen oksoniumin (H_3O^+) konsentraation. pH voi saada arvon 0...14 ja alue jaetaan happamaan, neutraaliin ja emäksiseen seuraavasti.

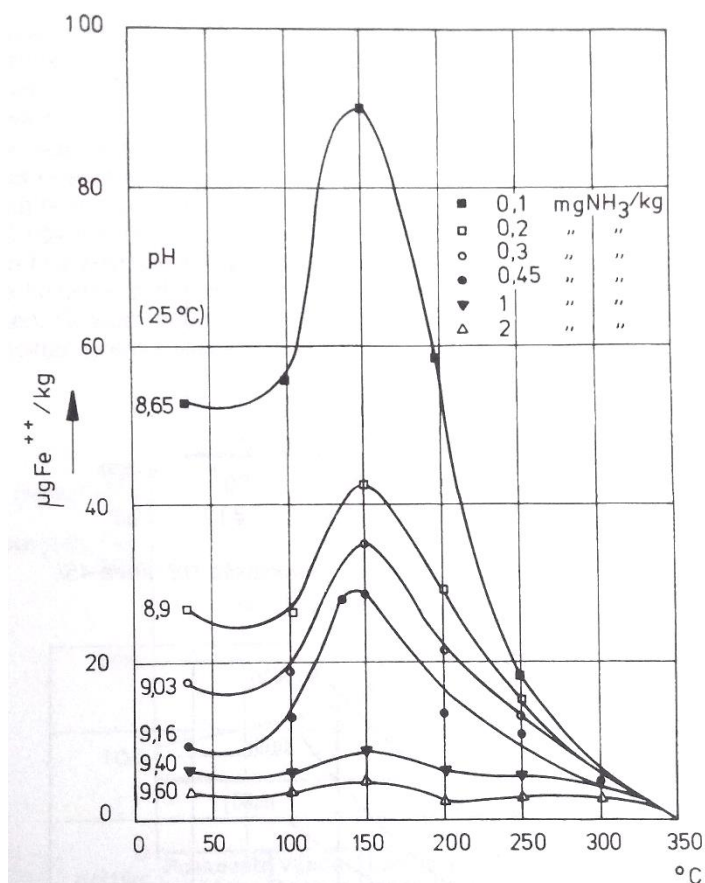
pH < 7	hapan
pH = 7	neutraali
pH > 7	emäksinen

Veden pH:lla on merkittävä vaikutus korroosioon, koska pH-arvo vaikuttaa mm. teräksen ja magnetiittikalvon liukenemiseen veteen sekä kuparin ja hiilidioksidin liukoisuuteen. Yleissääntönä kattilaveden tulisi olla emäksistä ja pH-arvon sitä korkeampi, mitä suurempi veden suola- ja happipitoisuus on. (4, s.5) Kuvassa 5 on esitettyä teräksen korroosionopeus pH-arvon funktiona niukkahappisessa vedessä.



KUVA 5 pH-arvon vaikutus teräksen korroosionopeuteen niukkahappisessa vedessä (5, s. 278)

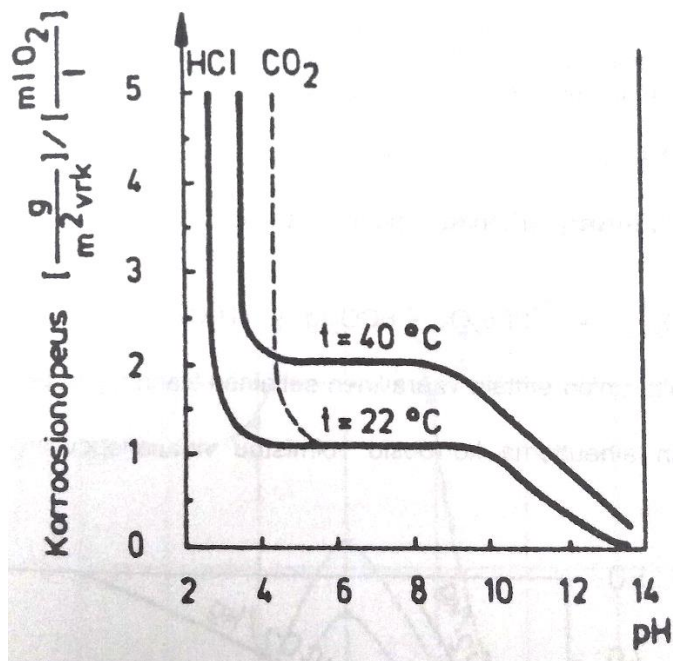
Magnetiittikalvon liukoisuus on alhaisin pH-arvolla 9,60. Magnetiittikalvon liukoisuus kasvaa pH-arvon kasvaessa kuvan 6 mukaisesti. pH-arvolla 9,5 myös hap-pikorroosio on pienemmällä. On kuitenkin syytä huomioida, että korkeilla pH-alueilla on myös korkea jännityskorroosiovaara. (5, s.278)



KUVA 6 Magnetiittikalvon liukoisuus eri pH-arvoilla lämpötilan funktiona (5, s.283)

Kuparin liukoisuus veteen on alhaisimmillaan pH-alueella 8...9. Kuparin liukoisuuteen ammoniakkipitoisessa vedessä vaikuttaa pH-arvon lisäksi lämpötila.

Veden pH-arvolla on vaikutus myös hiilidioksidin liukoisuuteen. Kuvassa 7 on esitetty vapaana CO₂:na ja vetykarbonaattina esiintyvän hiilidioksidin aiheuttaman korroosion nopeuden riippuvuus pH-arvosta. Kuvasta huomataan, että hiilidioksidin aiheuttama korroosionopeus kasvaa huomattavasti veden ollessa hapanta.



KUVA 7 pH:n vaikutus hiilidioksidin aiheuttamaan korroosionopeuteen (5, s. 281)

Alkaliteetti on veden puskurikyvyn mitta ja se ilmaisee, kuinka helposti veden pH-arvo muuttuu. Mitä suurempi veden alkaliteetti on sitä enemmän vesi vastustaa pH-arvon muutosta. Alkaliteetin aiheuttajia ovat mm. hydroksidi, karbonaatti ja vetykarbonaatti. Kattilaveden liian suuri alkalisuus voi aiheuttaa korroosioriskin suurenemista erityisesti korkeissa paineissa. (9, s. 14)

pH-arvon tavoin lämpötila vaikuttaa epäpuhtauksien liukoisuuteen ja siten veden korroosio-ominaisuuksiin. Edellä esitetystä kuvasta 6 nähdään magnetiittikalvon liukoisuuden olevan korkeimmillaan 150 °C:ssa. Suuret ja nopeat lämpötilanvaihtelut aiheuttavat magnetiittikerroksen irtoamista. Toistuvat magnetiittikerroksen rikkoutumiset ja vaurioitumiset edistävät korroosiota ja lyhentävät kattilaputkien käyttöikää. Yleisesti ottaen lämpötilan nousu kiihdyttää korroosioreaktioita. (4, s. 6)

2.2 Kattilakivi ja kerrostumat

Kattilakiveä aiheuttavat tyypillisesti veden kovuussuolat eli kalsium, magnesium ja silikaatti. Kerrostumat muodostuvat yleisesti kiintoaineiden saostumisesta. Kullakin kiinteällä aineella on sille ominainen lämpötilariippuvainen vesiliukoisuus.

Aineen pitoisuuden ylittäessä sille ominaisen liukoisuuden ylimääräinen aines saostuu pois. Mikäli aineen liukoisuus veteen alenee lämpötilan kohotessa, saostuminen tapahtuu sitä nopeammin mitä suurempi lämpötila on. Saostumat tukkivat putkia ja aiheuttavat lämpöä huonosti johtavia kerroksia. Lisäksi saostumat nostavat veden suolapitoisuutta ja karbonaatti- ja sulfaattikovuutta. (7, s. 11)

2.2.1 Suolat

Suoloilla on vesipiirissä korroosion kannalta merkittävä vaikutus. Kloridi on merkittävin suoloista, sillä kloridi-ioneilla on kyky tunkeutua magnetiittikalvon läpi aktivoiden korroosiota. Saostuvat suolat aiheuttavat piilokorroosiovaaran, sillä saostuman alle ja sen ympäristöön muodostuu pitoisuuksiltaan erilaisia alueita. Materiaalia liukenee saostuman alla, sillä hapen kulumisen muuttaa alueen potentiaaliksi anodiseksi ympäristöön nähden. (5, s. 283)

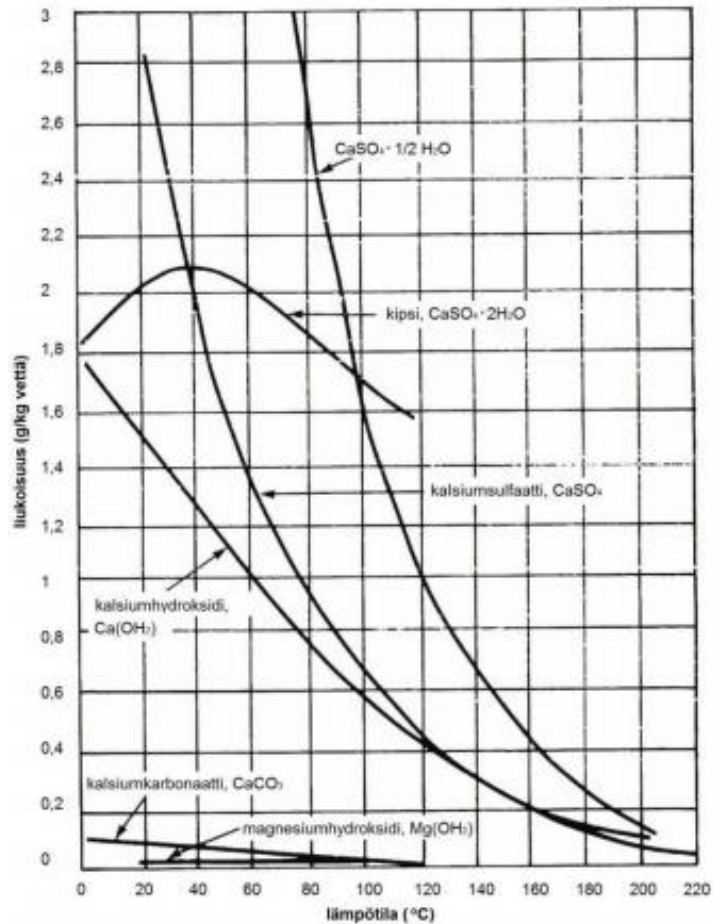
Kattilakivi voi muodostua kiteytymällä liukoisuuden pienentyessä tai kovuussuolojen kiintoainemuotoisten partikkelien kasaantuessa putkipinnoille. Kattilakiven koostumus ja sen sisältämät yhdisteet vaihtelevat. Kovuussuolojen päästessä kattilaveteen muodostuu tyypillisesti veteen lähes liukenemattomia kalsiumkarbonaattia ja magnesiumhydroksidia. Yleisin kattilaveteen kulkeutuva kalsiumyhdiste on kalsiumvetykarbonaatti, joka muodostaa yhtälön 8 mukaisesti kalsiumkarbonaattia lämpötilan noustessa.



Magnesiumkloridista muodostuu veden emäksisyyden vaikutuksesta magnesiumhydroksidia yhtälön 9 mukaisesti.



Kuvassa 8 on esitetty eräiden kattilakiveä muodostavien magnesium- ja kalsiumyhdisteiden liukoisuuksia lämpötilan funktiona. Kuvasta huomataan, että esimerkiksi edellä mainituilla kalsiumkarbonaatilla ja magnesiumhydroksidilla on erittäin pienet liukoisuudet.



KUVA 8 Kattilakiveä muodostavien yhdisteiden liukoisuuksia lämpötilan funktiona (6, s.37)

Eräät suolat, kuten natriumfosfaatti ja natriumsulfaatti kykenevät piiloitumaan kattilan raskaasti kuormitetuille pinnoille väkevöitymällä ja pysymällä siinä, kunnes kattilan kuormitusta vähennetään. Suolojen piiloutuminen johtaa kattilavesinäytteen liian alhaiseen analyysitulokseen.

2.2.2 Orgaaniset yhdisteet ja öljy

Vesihöyrykierrossa tapahtuvat vuodot voivat aiheuttaa erilaisten orgaanisten aineiden ja öljyn pääsyn kattilaveteen. Kattilan korkeassa lämpötilassa orgaaniset aineet hajoavat hitaasti. Käytettäessä fosfaattia pH-arvon säätöön ja kalsiumin ollessa läsnä muodostuu putkipinnoille kerrostuma. Kerrostumien muodostumisen lisäksi orgaanisten aineiden hajoamisessa syntyy happoa, joka kiihdyttää magnetiitin liukenemista. Orgaanisen aineen määrää vedessä kuvataan KMnO₄-kulutuksen avulla siten, että pienempi luku tarkoittaa puhtaampaa vettä.

Kattilaveteen päässeet öljyt voivat polymerisoitua ja palaa kiinni putkipinnoille kattilan korkeissa lämpötiloissa. Kerrostumien lisäksi orgaaniset yhdisteet voivat aiheuttaa kattilassa kuohumisvaaran. (4, s. 7; 6, s.38)

3 VEDENKÄSITTELYMENETELMÄT

Raakaveden epäpuhtaudet luokitellaan hiukkaskoon ja kemiallisten ominaisuuksien mukaan. Taulukossa 1 on esitetty epäpuhtauksien luokittelu ja epäpuhtauksien poistoon käytettävät menetelmät.

TAULUKKO 1. Epäpuhtauksien luokittelu ja käytettävät käsittelymenetelmät

	Hiukkaskoko [mm]	Epäpuhtaudet	Käsittelymenetelmät
Karkeat epäpuhtaudet	$> 10^{-4}$	Levät Mikro-organismit Jätteet	Välvät Sihdit
Kolloidiset epäpuhtaudet	$10^{-4} - 10^{-6}$	Humus Öljy Jäteliemi Ruoste	Selkeytysaltaat Hiekkasuodattimet
Liuenneet epäpuhtaudet	$10^{-6} - 10^{-8}$	Suolat Liuenneet kaasut Piihappo	Kemialliset käsittelyt

Syöttöveden valmistus raakavedestä aloitetaan poistamalla ensimmäisenä karkeat epäpuhtaudet. Tämän jälkeen poistetaan kolloidiset epäpuhtaudet ja viimeisenä suoritetaan liuenneiden epäpuhtauksien poisto. Tarvittavat vedenkäsittelymenetelmät määräytyvät käytettävästä raakavedestä ja kattilan asettamista veden laatuvaatimuksista. Tavallisesti valmistus vaatii useiden eri vedenkäsittelymenetelmien käyttämistä.

3.1 Karkeiden ja kolloidisten epäpuhtauksien poisto

Joki- tai järvivedestä otettava raakavesi sisältää sekä karkeita että kolloidisia epäpuhtauksia. Merivettä ei ole kannattavaa käyttää syöttövetenä sen korkean

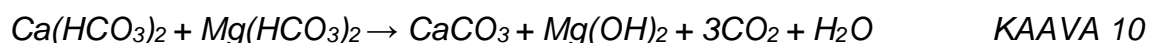
suolapitoisuuden vuoksi, vaikkakin nykyaikaiset suolanpoistomenetelmät mahdollistavat myös meriveden käytön. Karkeat epäpuhtaudet poistetaan mekaanisesti käyttämällä välppiä, siivilöitä ja selkeytysaltaita. Kolloidisten epäpuhtauksien eli humuksen poisto tapahtuu flokkauksella. Flokkaus aloitetaan lämmittämällä vesi 40 °C:een kemiallisten reaktioiden tehostamiseksi. Tämän jälkeen veteen annostellaan flokkauskemikaalit, jotka muodostavat yhdessä humuksen kanssa hiutalemaista flokkia. Flokkauskemikaaleina käytetään alumiinisulfaattia ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) ja ferrokloridia (FeCl_3). Kemikaalien sekoittamisen jälkeen vesi ohjataan selkeytyssäiliöön, jossa voi olla väliseiniä ohjaamassa veden kulkua. Selkeytysaltaassa flokki painuu pohjalle, josta se poistetaan ulospuhalluksella tai vaihtoehtoisesti nostamalla flokki ilmakuplien avulla pinnalle ja poistamalla flokki ylijuoksutuksella tai kaavinnalla. Selkeytyksen jälkeen vesi ohjataan vielä hiekka-suodattimen läpi. (8, s.11)

3.2 Kovuudenpoisto

Veden kovuus kuvaa magnesium- ja kalsiumsuolojen määrää vedessä. Nämä suolat ovat pahimpia kattilakiven muodostajia, sillä niiden liukoisuus veteen pienenee lämpötilan noustessa, jolloin ne pyrkivät muodostamaan kiinteitä kerroksia kattilan kuumille lämpöpinnoille. Kovuuden yksikkönä käytetään yleensä saksalaista kovuusyksikköä °dH tai SI-järjestelmän mukaista yksikköä mmol/l. Yksi veden kovuusyksikkö vastaa 10 mg CaO:ta litrassa vettä ja 1 °dH = 0,178 mmol/l. Kovuutta voidaan poistaa termisellä tai kemiallisella menetelmällä. (3, s. 29)

Terminen kovuudenpoisto

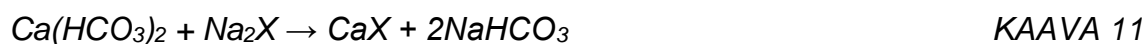
Termistä kovuudenpoistoa voidaan käyttää ainoastaan karbonaattikovuuden poistoon. Vesi kuumennetaan lähelle kiehumispistettä, jolloin vedessä olevat magnesiumin ja kalsiumin vetykarbonaatit hajoavat kaavan 10 mukaisesti. (8, s.12).



Reaktiotuotteena syntyvät magnesiumhydroksidi ja kalsiumkarbonaatti liukenevat veteen huonosti, joten ne saostuvat käsittelylaitteen pohjalle. (8, s.12)

Pehmennyssuodatin

Veden kovuudenpoisto pehmennyssuodattimella perustuu ioninvaihtoon. Vesi ohjataan pehmennyssuodattimelle, jossa on natriumioneja sisältäviä pieniä hart-sipalloja. Kun vesi virtaa suodattimen läpi kalsium- ja magnesiumionit vaihtuvat natriumioneihin ja kovuutta aiheuttavat suolat jäävät kiinni hartsiin. Pehmennys-suodattimessa tapahtuvat reaktiot ovat kaavojen 11 ja 12 mukaiset, mikäli kovuutta aiheuttavat kalsiumbikarbonaatti ja magnesiumkloridi.



$\text{X} = \text{kationinvaihtohartsia}$

Suodatin elvytetään, kun natriumionit ovat loppuneet. Elvytys tapahtuu johtamalla suodattimeen 10-prosenttista natriumkloridiliuosta. Liuoksen natriumionit tarttu-vat hartsiin ja samalla kalsium- ja magnesiumionit poistuvat liuoksen mukana vie-märiin. Elvytysreaktiot tapahtuvat kaavojen 13 ja 14 mukaisesti.



$\text{X} = \text{kationinvaihtohartsia}$

Kovuudenpoistossa kokonaissuolapitoisuus ei vähene. Pehmennyssuodattimet ovat nykypäivänä yleisin veden pehmennykseen käytettävä menetelmä. (3, s.29; 5, s.294)

Kemiallinen menetelmä

Lieriökattiloissa voidaan kovuutta poistaa lisäämällä erilaisia kemikaaleja. Katti-lan käyttöpaineen ollessa alle 30–50 baaria kovuudenpoistoon voidaan käyttää trinatriumfosfaattia saostamaan kalsium ja magnesium lietteeksi, joka poistetaan ulospuhalluksen yhteydessä. Koska läpivirtauskattiloissa ei ole ulospuhallusta, kovuudenpoistoon on käytettävä muita menetelmiä. (2, s.307)

3.3 Täyssuolanpoisto

Täyssuolanpoistoa vaaditaan laitoksissa, joissa pelkkä veden pehmennys ei enää riitä. Veden suolapitoisuuden poistoon voidaan käyttää esimerkiksi ioninvaihtoa, käänteisosmoosia ja elektrodialyysiä. Suomen vähäsuolaisia vesiä käsiteltäessä taloudellisin menetelmä suolanpoistoon on ioninvaihto. (5, s.294)

Ioninvaihto

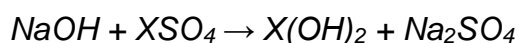
Ioninvaihtoon perustuvassa täyssuolanpoistossa voi olla yksi tai useampi ioninvaihdin sarjassa riippuen vedessä olevista epäpuhtauksista ja vaaditusta vedenlaadusta. Ioninvaihtosarja voi koostua humussuodattimesta (SC), heikoista ja vahvoista kationi- (K1 ja K2) ja anionivaihtimista (A1 ja A1) sekä sekavaihtimesta (MB).

Kationivaihtimella vaihdetaan metalli-ionit, kuten Na^+ , Mg^{2+} ja Ca^{2+} vetyioneihin H^+ . Kationinvaihtimessa ioninvaihtomassalla eli hartsilla on kyky vetää puoleensa positiivisia ioneja. Kaavassa 15 on esitetty kationilla tapahtuva reaktioesimerkki, jossa natriumioni jää hartsiin. Kationin elvytys tapahtuu kaavan 16 mukaisesti. Kationivaihtimet elvytetään vasta- tai myötävirtahuuhtelulla käyttäen laimennettua H_2SO_4 - tai HCl -liuosta. Ennen elvytystä on tehtävä vastavirtahuuhtelu.



Anionivaihtimella puolestaan vaihdetaan epämetalli-ionit, kuten kloridi Cl^- ja sulfaatti SO_4^{2-} hydroksyyli-ioneiksi OH^- . Kaavassa 17 ja 18 on esitetty esimerkit anionivaihtimella tapahtuvasta reaktiosta ja kaavassa 19 anionivaihtimen elvytysreaktioesimerkki. Kationivaihtimelta tuleva H^+ -ioni ja anionivaihtimelta tuleva OH^- -ioni muodostavat yhdessä puhdasta vettä.





KAAVA 19

X = ioninvaihtohartsia

Sekavaihdin sisältää sekä kationin- että anioninvaihtomassaa ja sen tarkoituksena on vaihtaa kationin- ja anioninvaihtimelta vuotaneet ionit. Sekavaihtimien elvytykseen käytetään laimennettua rikki- tai suolahappoliuosta ja laimennettua natriumhydroksidiliuosta. Sekasuodattimen jälkeen vesi ohjataan lisävesisäiliöön varastoitavaksi, josta sitä voidaan siirtää syöttövesisäiliöön korvaamaan lauhdevuotoja. (3, s. 30–31)

Taulukossa 2 on esitetty esimerkit kahden erilaisen ioninpuhdistussarjan tuottaman puhtaan veden suola- ja silikaattipitoisuudet. Kytkemällä ioninvaihtosarjan perään sekavaihdin saadaan veden suola- ja silikaattipitoisuus hyvin alhaiselle tasolle.

TAULUKKO 2. Ioninvaihdolla saavutettava suola- ja silikaattipitoisuus (5, s. 295)

Sarja	Suolapitoisuus [mg/kg]	Silikaattipitoisuus [mg/kg]
K1-A1-A2	1	0,1
K1-A1-A2-MB	0,1	0,01

Käänteisosmoosi

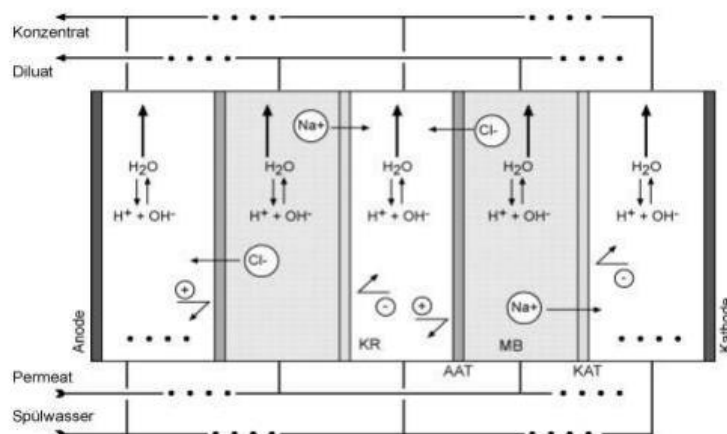
Käänteisosmoosipuhdistus perustuu epäpuhtauksien poistoon puoliläpäisevän erotuskalvon avulla. Vesimolekyylit läpäisevät erotuskalvon, mutta suolamolekyylit ovat niitä isompia, eivätkä läpäise kalvoa. Puhdas vesi saadaan siirtymään kalvon läpi epäpuhtaammalta puhtaammalle puolelle tuottamalla osmoottista painetta suurempi paine pumpun avulla. Käänteisosmoosilla saadaan poistettuja vedestä suoloja, mutta liuenneet kaasut eivät poistu käänteisosmoosista. Liuennot

hiilidioksidi on mahdollista muuttaa bikarbonaatiksi nostamalla veden pH-arvoa. Bikarbonaatiksi muutettu hiilidioksidi voidaan suodattaa käänteisosmoosilla. Käänteisosmoosilla saavutetaan alle 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ johtokyky. (3, s. 31; 9, s. 29)

ED/EDI

Elektrodialyysin (ED) toiminta perustuu käänteisosmoosin tavoin kalvotekniikkaan. Paineen sijaan epäpuhtauksien poistaminen perustuu anodin ja katodin väliseen potentiaalieroon. Vesi virtaa kalvojen välissä, joista joka toinen on anio-nit läpäisevä ja joka toinen kationit läpäisevä. Ionit liikkuvat sähköisen varauksen perusteella siten että negatiivisesti varautuneen ionit kulkeutuvat positiivisesti va-rautuneeseen anodilevyyn päin ja vastaavasti positiivisesti varautuneet ionit kul-keutuvat negatiivisesti varautuneeseen katodilevyyn päin. Ionit jäävät kalvojen väliin ja siten joka toisesta välistä saadaan puhdistettua ionitonta vettä ja joka toisesta rejektiä. Elektrodialyysillä saadaan poistettua n. 85 % liuenneista kiinto-aineista.

Elektrodeionisaation (EDI) tekniikka on elektrodialyysiä vastaava. Erotuksena sii-hen on lisätty kationin- ja anioininvaihtohartsit. Lisäys parantaa ionin- ja silikaatin poistoa, koska silikaatti ei ole sähköisesti varautunut, eikä sitä voida poistaa elektrodialyysillä. EDI-prosessissa ioninvaihtohartsien elvytys tapahtuu tasajän-nitteen avulla, eikä erillisiä elvytyskemikaaleja tarvita. Kuvassa 9 on esitettyinä elektrodeionisaation toimintaperiaatetta havainnollistava kuva. Käytettäessä yh-dessä käänteisosmoosia ja EDIä saavutetaan johtokyky alle 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja alle 20 ppb:n silikaatti- ja natriumpitoisuus. (3, s.32; 9, s. 30)



3.4 Terminen kaasunpoisto

Lämpötila ja paine vaikuttavat olennaisesti kaasujen liukenemiseen veteen. Veden kiehumispisteessä kaasujen liukoisuus on nollassa. Kaasunpoistin on syöttövesisäiliön päälle rakennettava torni, johon johdetaan höyryä alakautta ja syöttövesi virtaa ylhäältä alas. Vesi hajaantuu pieniksi pisaroiksi ja erottunut kaasu johdetaan hönkähöyryputken kautta ulos. Terminen kaasunpoistin on mahdollista rakentaa myös syöttövesisäiliön sisään. Termistä kaasunpoistoa käytetään lähinnä hapenpoistoon, mutta samalla saadaan poistettua myös muut veteen liuenneet kaasut, kuten hiilidioksidi. Raakaveden sisältäessä runsaasti bikarbonaatteja tai karbonaatteja, on hiilidioksidi poistettava jo suolanpoiston yhteydessä. Termisessä kaasunpoistossa saavutetaan 0,01...0,02 mgO₂/kg jäännöshappipitoisuus. (3, s.33; 5, s.296)

3.5 Kemikaalien lisäykset

Kemikaaleja lisäämällä pyritään korjaamaan kattilaveden laatu vastaamaan sille asetettuja arvoja. Kemikaaleja voidaan käyttää jäännöshapen poistoon, jäännöskovuuden poistoon ja säätämään veden pH-arvoa.

Hydratsiinia (N₂H₄) käytetään termisessä kaasunpoistossa syöttöveteen jääneen hapen poistoon. Hydratsiini reagoi hapen kanssa muodostaen vaarattomia aineita. Hydratsiini on lisättävä nesteeseen alle 200 °C:n lämpötilassa, sillä tätä korkeammassa lämpötilassa se hajoaa ammoniakiksi ja typeksi. Muita jäännöshapen poistoon käytettäviä kemikaaleja on mm. natriumsulfaatti, erilaiset amiinijohdannaiset, tanniini ja erytorbiinihapon suola. Näistä tanniini poistaa hapen tehokkaasti matalapainekattiloiden kattilavedestä. (5, s. 296; 9, s. 43)

Lieriökattiloissa kovuudenpoistoon käytetään trinatriumfosfaattia (Na₃PO₄), joka saostaa kalsiumin ja magnesiumin hienoksi lietteeksi. Liete poistetaan kattilavedestä lieriön ulospuhalluksessa. Matalapaineisilla 5–15 bar:n lieriökattiloilla voitaisiin käyttää karbonaattikemialia, jossa veteen syötetään lipeää ja natriumkarbonaattia. (3, s.33)

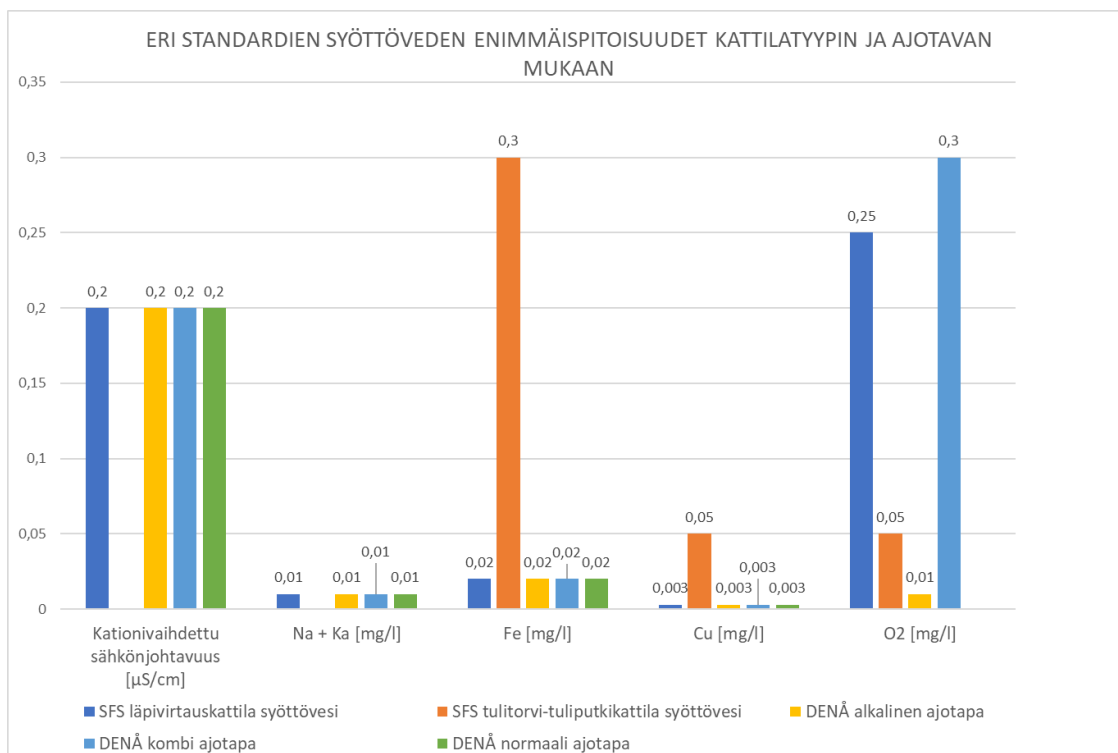
Kattilaveden pH:n säätöön käytetään alkalointiaineita. Läpivirtauskattiloissa on käytettävä höyryn sekaan haihtuvia alkaleita, joita ovat mm. ammoniakki, sykloheksylamiini, morfoliini, butanolamiini ja aminometyylipropanoli. Halvasta hinnasta huolimatta ammoniakin käyttöä vältetään sen huonon jakaantumiskertoimen ja voimakkaan hajun vuoksi. (8, s.19)

4 KATTILAVEDEN LAATUVAATIMUKSET

Kattilaveden laatuvaatimukset riippuvat useista tekijöistä, kuten kattilatyypistä, paineluokasta ja höyryn käyttötarkoituksesta. Kattilaveden laadulle on olemassa suosituksia ja ohjearvoja. Suosituksia ovat laatineet mm. DENÅ (Dansk Kedelforening+Ekono+Norsk Dampkedelforening+Ångöföreläring), Suomen standardoimisliitto SFS, saksalainen suurvoimalaitoskäyttäjien yhteisö VGB sekä ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Liitteeseen 1 on koottu SFS:n suositukset läpivirtauskattilan ja tuliputkikattilan syöttöveden laatusuosituksiset (SFS-EN 12952-12 ja SFS-EN 12953-10) sekä DENÅ:n suositukset läpivirtauskattilalle. SFS-standardien suositusarvot läpivirtauskattilalle pätevät muilta osin koko painealueella, poikkeuksen suoran sähköjohtavuuden ja silikaatin ohjearvot, jotka on luettu taulukosta maksimipaineen avulla. Tuliputkikattilan ohjearvot syöttö- ja kattilaveden laadulle pätevät painealueella 0,5–20 bar siten, että silikaatin ja suoran sähköjohtavuuden arvot on katsottu maksimipaineen avulla. DENÅ:n suositukset läpivirtauskattilan syöttöveden ja lauhteen laadulle on laadittu koko painealueelle eri ajotapojen mukaan.

SFS-standardeissa edellytetään kaikissa kattiloissa käytettävän kirkasta vettä, joka ei sisällä liukenevia aineita. DENÅ:n laatimassa suosituksessa veden ulkonäölle ei ole annettu suositusta. Kuvassa 10 vertailu eri suositusten ohjearvon mukaisesta kationivaihdetun sähköjohtavuuden maksimiarvosta sekä natriumin ja kaliumin, raudan, kuparin ja hapen enimmäispitoisuuksista.



KUVA 10 Eri standardien mukaiset enimmäispitoisuudet kattilatyypin ja ajotavan mukaan

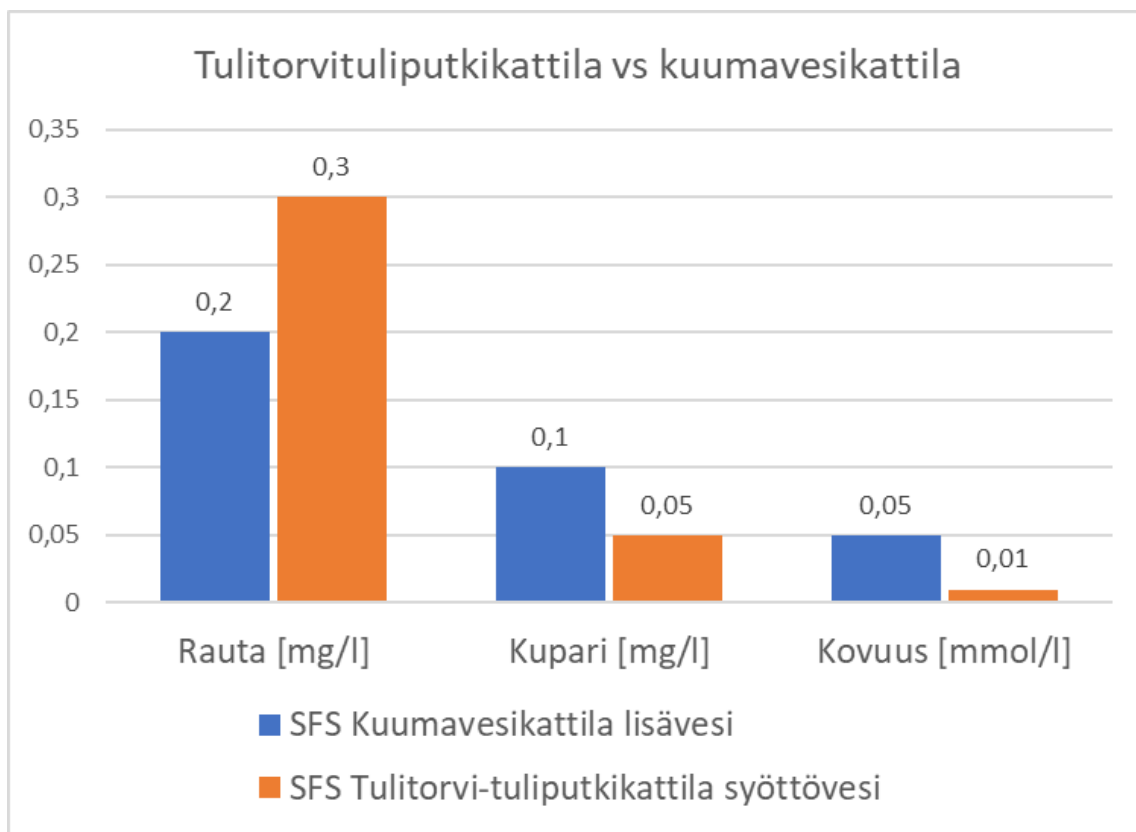
Tuliputkikattilan syöttöveden kationivaihdetulle sähköjohtavuudelle sekä natrium ja kaliumin enimmäispitoisuudelle ei ole asetettu ohjearvoa. DENÅ:n ja SFS:n läpivirtauskattilan ohjearvot vastaavat näiltä osin toisiaan ja molemmat suosittelivat syöttöveden sähköjohtavuudeksi $< 0,2 \mu\text{S/cm}$ ja Na + Ka -pitoisuudeksi $< 0,01 \text{ mg/l}$. Alkalisella ajotavalla tuliputkikattilan kattilaveden kationivaihdetuksi sähköjohtavuudeksi hyväksytään $< 5 \mu\text{S/cm}$. Graafisesta esityksestä nähdään tuliputkikattilan sallivan läpivirtauskattilaa suuremman rauta- ja kupari-pitoisuuden. Happipitoisuudelle asetettu enimmäispitoisuus vaihtelee sekä kattilatyypin että ajotavan mukaan.

Kuvassa 11 on esitetty SFS-standardien ja DENÅ:n suosittelemat pH-alueet. Graafista huomataan pH-suositusten vaihtelevan huomattavasti enemmän kattilatyypistä ja ajotavasta riippuen. Mikäli tuliputkikattilassa käytetään pehmennettyä vettä, sen pH-arvoksi hyväksytään $>7,0$.



KUVA 11 Suositusten mukaiset syöttöveden pH-alueet

Mikäli kattilassa tuotettaisiin kosteaa höyryä olisi kattila- ja lisäveden epäpuhtauksien suositusarvot huomattavasti löysemmät standardien SFS-EN 12952-12 ja SFS-EN 12953-10 mukaan. Liitteessä 2 on koottu kuumavesikattiloissa käytettävän kattila- ja lisäveden ohjearvot. Vertailun avuksi kuvassa 2 kuumavesikattilan ja tuliputkikattilan SFS-standardien mukaiset syöttöveden raudan ja kuparin enimmäispitoisuudet sekä maksimikovuus.



KUVA 12 Kuumavesikattilan ja tulitorvi-tuliputkin syöttöveden enimmäispitoisuuksien vertailu

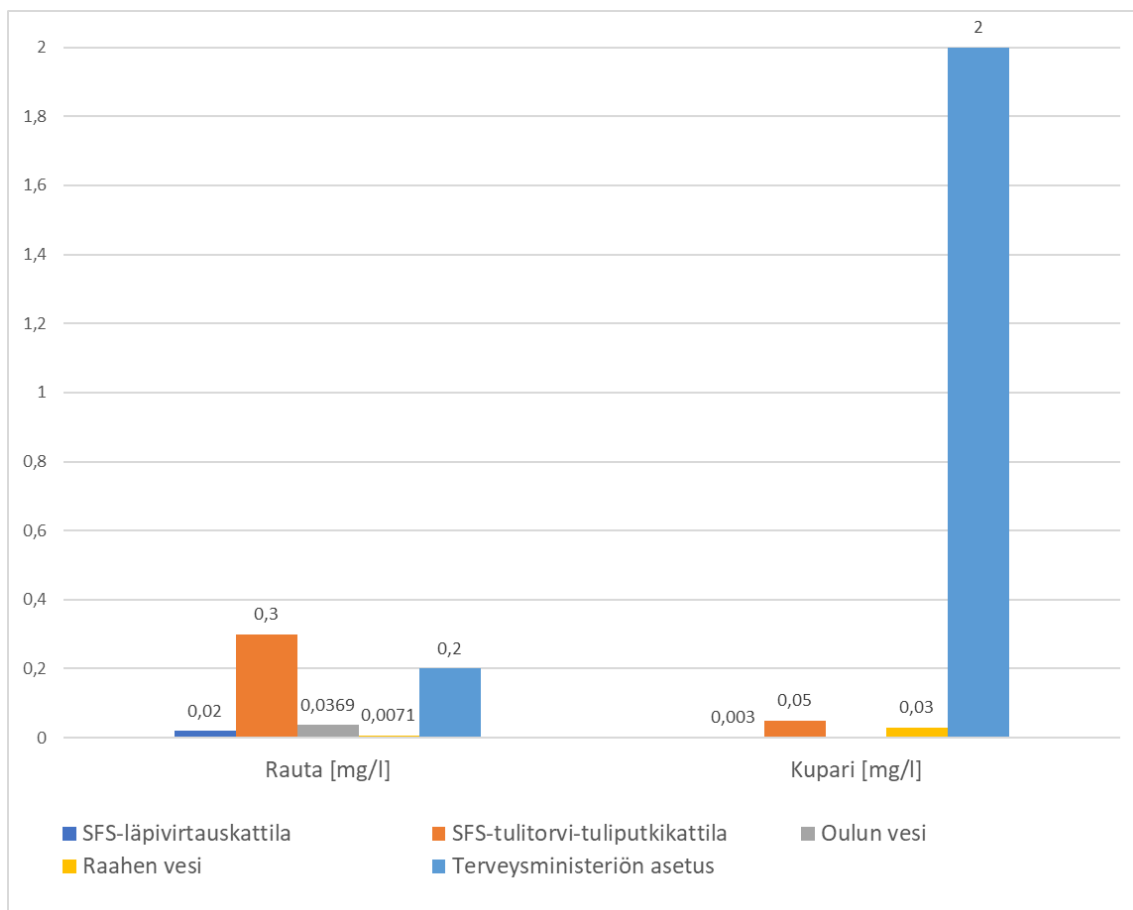
Standardien SFS-EN 12952-12 ja SFS-EN 12953-10 pohjalta kuumavesikattiloiden kattila- ja lisävedessä sallitaan mm. suurempi rautapitoisuus ja kovempi vesi, lisäksi esimerkiksi silikaatti-, happi- ja fosfaattipitoisuuksille ei ole asetettu enimmäisohjearvoa.

Käytettäessä kattilalaitoksella käytettäessä uusia jälkiannostelukemikaaleja tulisi laadunvalvonnassa seurata uusia ohjearvoja, sillä vanhempien ohjeiden mukaiset laatuvaatimukset voivat olla niin heikkoja, että kattila altistuu likaantumiselle ja siten korroosio- ja virumisvaurioiden riski kasvaa. (9, s.9)

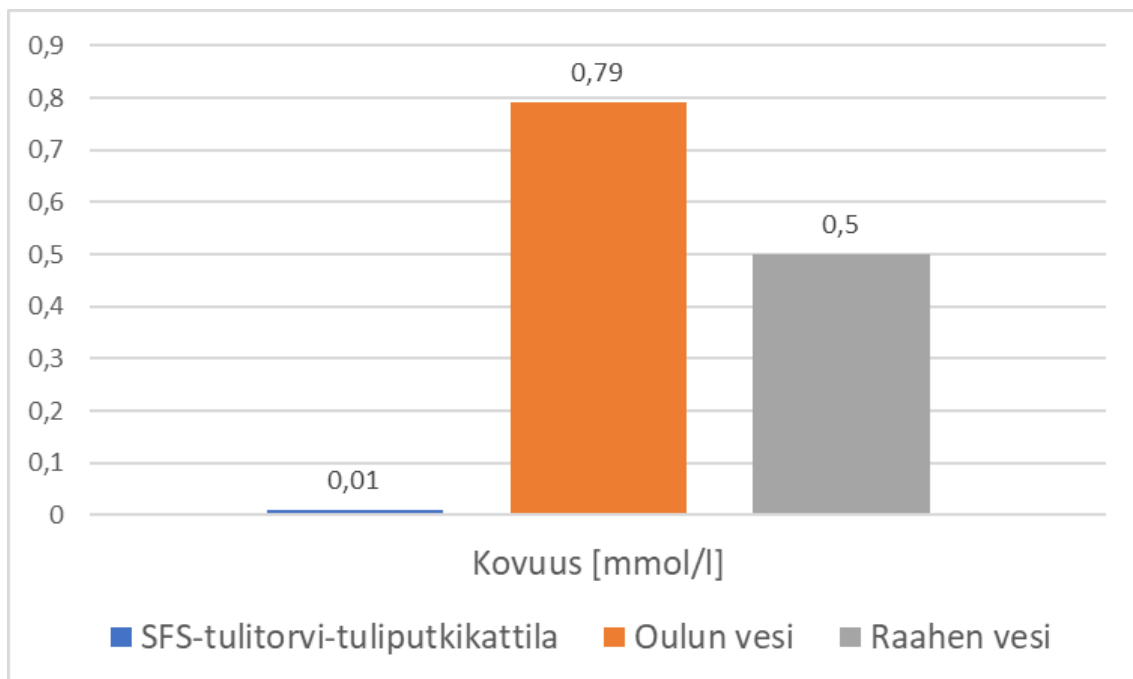
5 TALOUSVEDEN SOPIVUUS KATTILAVEDEKSI

Suomessa noudatetaan sosiaali- ja terveysministeriön laatimaa asetusta talousveden laadusta. Asetuksessa on terveysperusteisia laatuvaatimuksia- ja suosituksia eri yhdisteiden enimmäispitoisuuksista. Osa asetuksessa määritetyistä tarkkailtavista pitoisuuksista on myös kattilaveden laatuparametrejä. Näiden lisäksi suosituksissa on useita sellaisia seurattavia pitoisuuksia, joista kattilaveden laatuun liittyvissä suosituksissa ei ole määritetty enimmäisarvoa. Liitteeseen 5 on koottu kattilaveden kannalta olennaisimpien yhdisteiden enimmäispitoisuuksia sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan ja Euroopan unionissa käytetävän veden laadusta. Lisäksi taulukkoon on koottu Oulun ja Raahen vesilaitoksien viranomaismittausten tulokset.

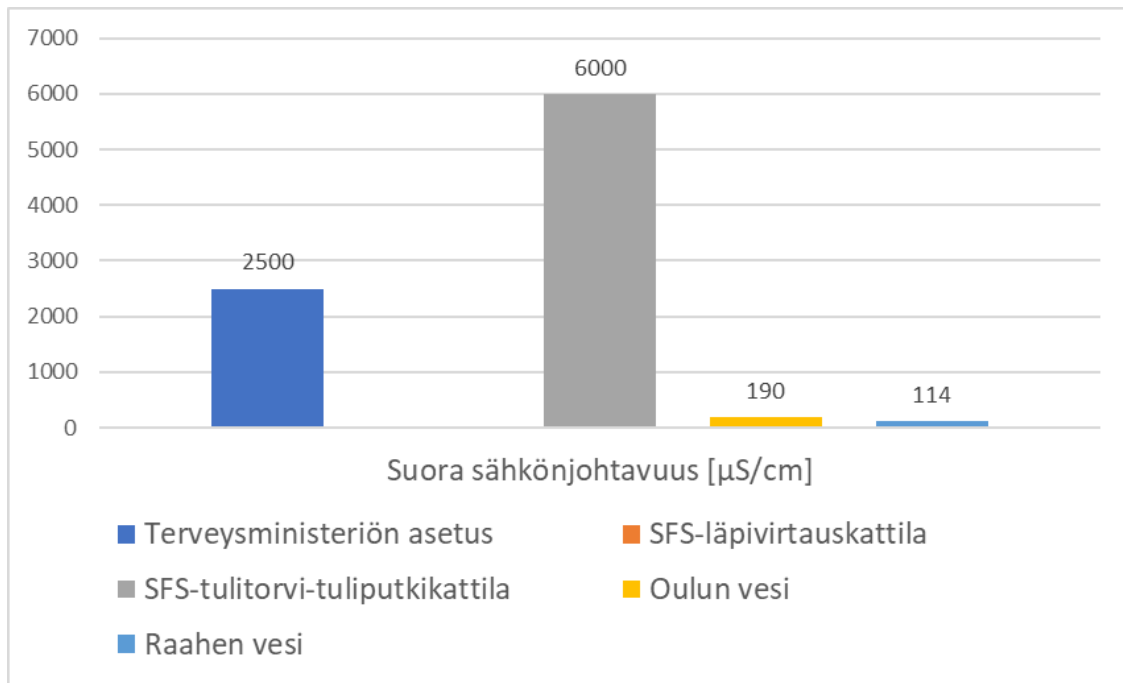
Seuraaviin kuviin 13, 14 ja 15 on havainnollistettu SFS-standardien mukaiset läpivirtaus- ja tulitorvi-tuliputkikattilan syöttöveden enimmäispitoisuudet raudalle ja kuparille, enimmäiskovuus ja suurin suora sähkönjohtavuus ja vastaavat mitatut arvot Oulun ja Raahen talousvedestä sekä terveysministeriön laatiman asetuksen asettamat enimmäisarvot talousvedessä.



KUVA 13 Raudan ja kuparin enimmäispitoisuudet syöttö- ja talousvedessä



KUVA 14 Tulitorvi-tuliputkikattilan syöttöveden sallittu kovuus verrattuna Oulun ja Raahen talousvedestä mitattuun kovuuteen



KUVA 15 Veden suorasähkönjohtavuus talousvedessä ja kattilan syöttövedessä

Suositusten ja vertailtavien Oulun ja Raahen viranomaisvalvonnan mukaan suomalainen ja eurooppalainen talousvesi ei suoraan kelpaisi kattilavedeksi. Oulun ja Raahen talousveden rautapitoisuus ei aiheuttaisi ongelmia tuliputkikattilassa. Raahessa tuotetun talousvesi kelpaisi rautapitoisuuden puolesta myös läpivirtauskattilaan. Huomioitavaa on, että terveysministeriön asetus sallii kuitenkin talousvedessä huomattavasti korkeammat rautapitoisuudet, jotka eivät ole kattilaveden laatusuositusten rajoissa.

Raahelainen talousvesi kelpaisi myös kuparipitoisuuden puolesta tuliputkikattilan syöttövedeksi. Toisaalta kuparipitoisuus ylittää läpivirtauskattilalle asetetun ohjearvon. Oulun vedellä kuparipitoisuudesta ei ole tehty mittausta tai mittauksen tulos ei ole julkinen.

Talousvedelle ei ole määritelty terveysministeriön asetuksessa enimmäiskovuutta. Viranomaismittausten mukaiset talousveden kovuudet eivät sovellu tulitorvi-tuliputkikattilassa käytettäväksi. Läpivirtauskattilan syöttöveden kovuudelle

ei ole asetettu ohjearvoa. Talousveden sopivuuden selvittämisessä ongelmia aiheuttaa se, ettei kaikista yhdisteistä ole talousveden kannalta määritelty suosituksia, eikä vesilaitosta veloiteta tekemään mittauksia. Näistä esimerkkeinä ovat natrium ja kaliumpitoisuudet sekä silikaatin määrä. Talousveden happipitoisuus on terveysministeriön asetusten mukaan liian suuri kattilavedelle. Mikäli talousvettä käytettäisiin kattilavetenä tulisi sen pH:ta ja kovuutta säätää sopivammalle tasolle.

Oulun vesilaitoksella raakavedestä poistetaan välppien, flokkauksen ja erilaisten suodattimien avulla karkeat ja kolloidiset epäpuhtaudet sekä mikrobit. Käytettäessä esimerkiksi Oulun Veden Hintan vesilaitoksella tuotettua talousvettä syöttö- ja kattilavetenä tarvittaisiin lisäksi liuenneiden epäpuhtauksien poistoa. Jotta talousvedestä saataisiin kattila- ja syöttövettä koskevien ohjearvojen täyttävää, tarvittaisiin mm. vedenpehmentin, suolanpoisto sekä mahdollisesti pH:n säätön alkalointikemikaaleja. Eräs esimerkki vedenkäsittelylaitteistoja toimittavista yrityksistä on HyXo Oy, jolla on markkinoilla saatavilla mm. vedenpehmentimiä, suolanpoistoon tarkoitettuja laitteita ja kattilakemikaaleja. (14; 15; 16; 17)

Haja-asutusalueilla talousvesi otetaan usein omasta rengas- tai porakaivosta. Kaivoveden laatuun vaikuttaa pitkälti pohjaveden laatu ja määrä. Kaivoveden laatu voi vaihdella paikallisesti hyvin paljon. Kuitenkin myös kaivovedestä otettavan talousveden on täytettävä talousvedelle asetetut laatuvaatimukset. Jotta kaivosta otettavaa talousvettä voitaisiin harkita raakavedeksi, tulisi vedestä tehdä kaivokohtaisesti laboratorioanalyysit, jotta tarvittava vedenkäsittelyjärjestelmä voitaisiin suunnitella. (18)

Kaivoveden tavoin myös kunnallisesta vesijohtoverkostosta saatavan talousveden laatu vaihtelee alueellisesti. Talousveden käyttäminen kattila- ja/tai lisävetenä edellyttäisi veden laadun seurantaan laitoksella tai läheistä yhteistyötä paikallisen vedentoimittajan kanssa, jotta veden laadusta ja lisäpuhdistuksen tarpeesta voidaan varmistua. Lisäksi tulee huomioida, ettei veden laatu pääse merkittävästi heikkenemään esimerkiksi verkostossa viipymisen vuoksi.

Liitteessä 2 olevasta taulukosta huomataan, että vaikka Euroopan unionissa on annettu talousvettä koskeva laatuohje, siinä ei ole määriteltä montakaan kattilaveden laatuun vaikuttavaa tekijää. On kuitenkin huomioitava, että voi olla ole-massa tarkempia kansallisia asetuksia, joihin ei tässä työssä ole lähdetty tarkem-min perehtymään.

Kattilaveden valmistus talousvedestä voi aiheuttaa suuria kustannuksia hankitta-essa vedenkäsittelylaitteita. Toisaalta vedenkäsittelylaitteiden vaatima tila voi ra-joittaa talousveden käyttöä. Yhtenä vaihtoehtona voisi selvittää kattila- ja lisäve-den ostettavuus paikallisilta voimalaitoksilta, joilla on valmiiksi tarvittavat veden-käsittelylaitteistot. Voimalaitoksilla käytettävissä kattiloissa käytetään yleisesti hy-vin puhdasta vettä johtuen korkeamman käyttöpaineen aiheuttamista tiukem-masta laatuvaatimuksesta. Haasteena tässä vaihtoehdossa on veden kuljetetta-vuus ja säilyvyys. Vesi voi kuljetuksen aikana esimerkiksi kontaminoitua, huoli-mattoman käsittelyn seurauksena mikrobit voivat muodostaa kasvustoja tai vesi voi hapettua.

6 LISÄVESI

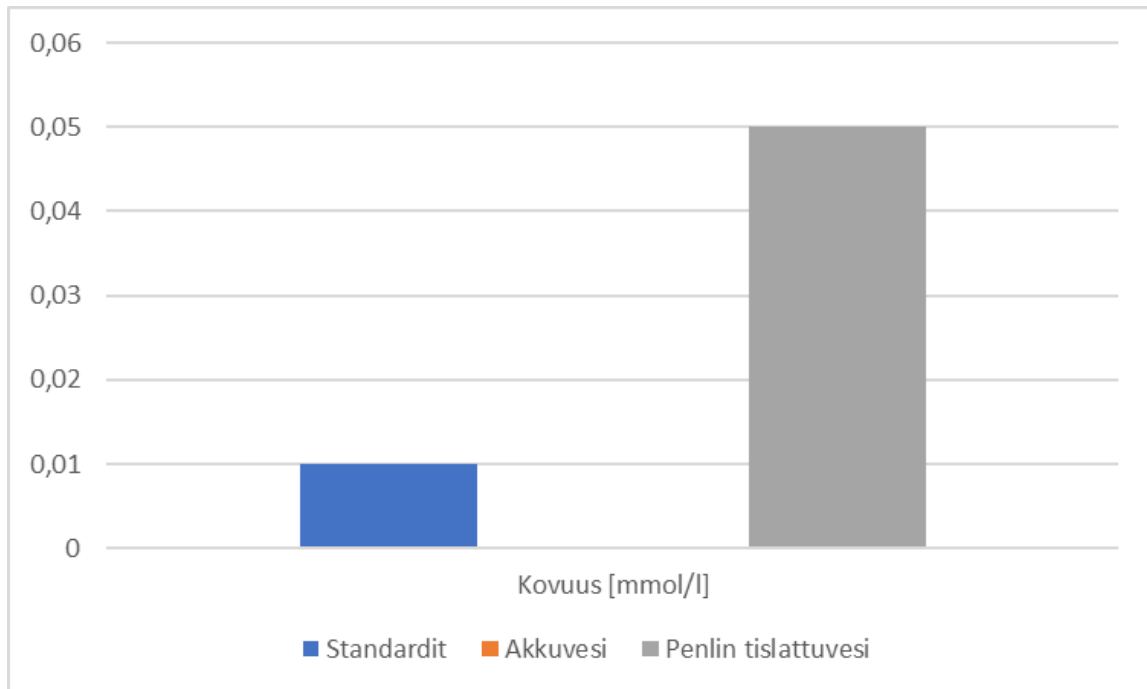
Lisävedellä tarkoitetaan ulkopuolelta lauhde-, ulospuhallus ja muita vesihöyrypiirien häviöitä korvaamaan tuotua vettä. (10, s. 8) Hankkeessa kehitetyssä tuliputkikattilan ja vesiputkikattilan yhdistelmässä ei ole lieriötä, joten ulospuhalluksen puuttuminen järjestelmästä vähentää lisäveden tarvetta. Lauhteen palauttamisella takaisin kiertoon vähennetään omalta osaltaan olennaisesti lisäveden tarvetta. Kuitenkaan laitosta ei voida olettaa täysin vuodottomaksi. Se kuinka suu-
relle lisäveden määrälle on tarve, on tässä vaiheessa vielä täysin spekulatiivista.

Suomalaisilla höyryvoimalaitoksilla lisävesi valmistetaan yleensä luonnon pintavesistä tai talousvedestä. Luonnonvesien ja talousveden käyttö vaativat vedenkäsittelyä, sillä lisäveden on täytettävä syöttövedelle asetetut laatuvaatimukset. Mikäli lisäveden tarve jää alhaiselle tasolle voi vedenkäsittelyjärjestelmän hankinta- ja käyttökustannukset kohota kannattamattomalle tasolle. Mikäli vedenkäsittelylaitteistoihin ei ole kannattavaa investoida voisi vaihtoehtoisesti selvittää valmiiksi puhdistettujen vesien käyttöä lisävetenä. Vaihtoehtoja voisivat olla esimerkiksi akkuvesi, muut markkinoilla olevat puhdistetut vedet tai jo aikaisemmin mainittu voimalaitoksilla raakavedestä tuotettu puhdas vesi.

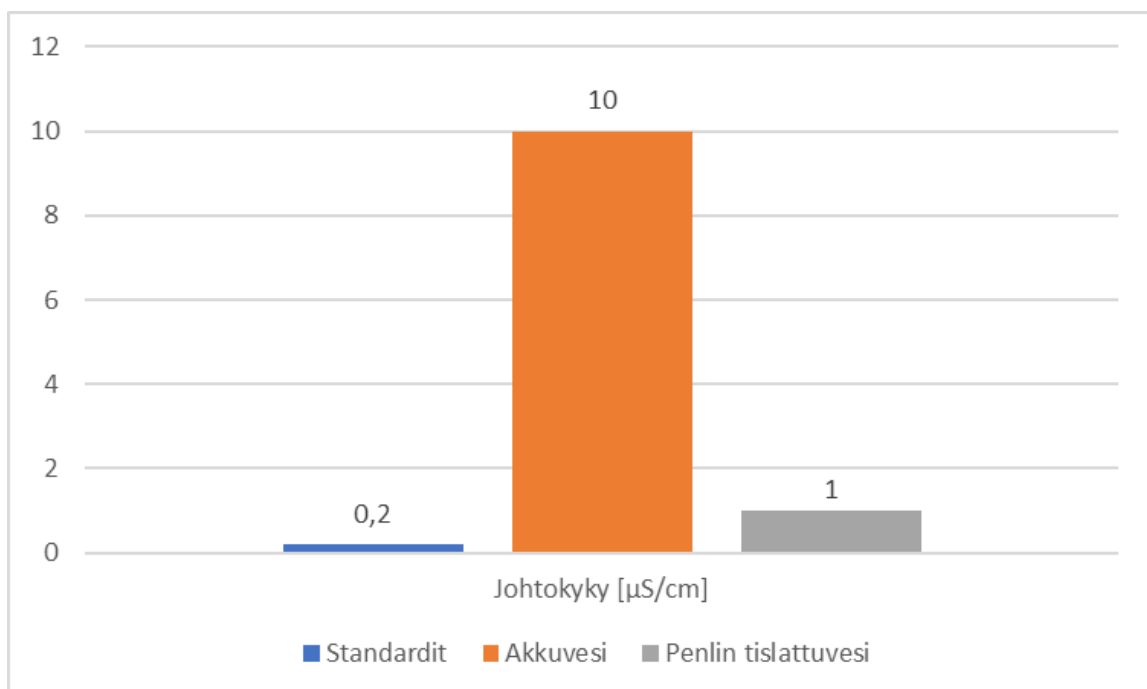
Akkuvesi on yleensä ionipuhdistettua vettä. Valmistajien ilmoittamat maksimijohtokyvyt vaihtelevat 5–10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alueella. (19; 20) Mikäli laitoksen lisäveden tarve jää vähäiseksi verrattuna syöttöveden määrään ja käytettävä syöttövesi itsessään on jo suosituksia puhtaampaa voisi esimerkiksi kokeellisesti selvittää aiheutuisiko ohjearvoja epäpuhtaamman veden käytöstä kattilalle suuria korroosio- tai kattilakiviriskejä.

Markkinoilta löytyy myös muita vaihtoehtoja puhdistetulle vedelle. Esimerkiksi Penliltä on ostettavissa tislattua vettä, jonka johtokyky on alle 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ja kovuus alle 5 ppm. Myyjän ilmoittama hinta vedelle on 0,98 e/l ja pakkauskokoja saatavilla 1 ja 600 litran välillä. Tislattu vesi on akkuvettä kalliimpaa, mutta toisaalta se on puhtaampaa ja soveltuu siten paremmin lisävedeksi ohjearvojen mukaan. (21)

Kuvassa 16 on esitetty Penlin tislatusveden kovuus verrattuna SFS-standardin tuliputkikattilalle suositellun kattilaveden enimmäiskovuuteen. Akkuveteen ja läpivirtauskattilan syöttöveden kovuutta ei ole määritetty. Kuvassa 17 on verrattuna akkuveteen ja Penlin tislatusveden johtokykyä verrattuna standardien antamaan maksimijohtokykyyn kationivaihtimen jälkeen.



KUVA 16 Tulitorvi-tuliputkikattilan syöttöveden ja tislatusveden kovuudet



KUVA 17 Syöttöveden, akkuveden ja tislattun veden sähkönjohtavuus

Valmiiksi puhdistetun veden säilytykseen liittyy omat riskinsä. Valmiiksi puhdistettu vesi voi kuljetusastian aukaisun jälkeen voi altistua esimerkiksi bakteerikasvustolla ja hapettumiselle. Tämä tarkoittaa sitä, että pitäisi löytää sopivat pakkauskoot ja säilytysmenetelmät.

Seuraavana on tehtävä pitkän aikavälin kannattavuuslaskelmia, jotta voidaan selvittää, onko laitoksen suunnittelulla elinajalla kannattavaa investoida omaan vedenpuhdistusjärjestelmään vai onko lisävesi taloudellisempaa hankkia valmiiksi puhdistettuna. Kannattavuuteen vaikuttaa olennaisesti laitoksen vesi- ja höyryhöyryviöiden suuruus.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli löytää taloudellinen ratkaisu mikro-CHP-laitoksessa käytettävälle kattilavedelle ja tarkastella kattilan kriittisyyttä veden laadulle. Tämän työn pohjalta ei voi antaa yksiselitteistä vastausta sille minkälaista vettä tulisi käyttää ja mikä olisi taloudellisin tapa sen valmistukseen, sillä työn ulkopuolelle rajattiin kustannuslaskelmien ja hintavertailujen teko. Vedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä on useita. Kattilatyypin, käyttöpaineen ja -lämpötilan määräävät sen kuinka puhdasta vettä laitoksessa tulisi käyttää. Matalapaineisilla kattiloilla voidaan käyttää epäpuhtaampaa vettä, toisaalta taas lieriötön läpivirtauskattila vaatii lieriökattilaa puhtaampaa vettä. Tässä työssä on esitetty eri standardien antamat ohjeet, joihin voi tukeutua suunniteltaessa ja valittaessa käytettävää vettä ja tarvittavia vedenkäsittelymenetelmiä.

Vedenlaatu vaikuttaa suuresti korroosion, saostumien ja kattilakiven muodostumiseen, mitkä omalta osaltaan voivat aiheuttaa kattilan käyttöiän lyhentymisen ja kunnossapitokustannusten nousun. Epäpuhtauksien laatu määrittää, aiheuttaako korrosio vai kattilakivi suuremman riskin. Huomioitavaa on, että korroosionhallinnan kannalta vaikein lämpötila-alue on juurikin 100–200 °C. Lisäksi happi aiheuttaa korroosiota lämpötilan ollessa alle 200 °C. Karkeasti voidaan sanoa, että vedestä saadaan poistettua tehokkailla puhdistusmenetelmillä suurin osa kattilakiveä aiheuttavista epäpuhtauksista, mutta suuri virtausnopeus voi aiheuttaa oksidikalvon kulumista ja näin kattila altistuu eroosiokorroosiolle. Epäpuhtauksien ohella myös mm. pH-arvolla, lämpötilalla ja virtausnopeudella on vaikutus korroosion ja kattilakiven syntyyn. Kattila on kuitenkin suunniteltu siten, että sen sisäosien puhdistus on helppoa.

Hankkeessa suunniteltu kattila on tuliputkikattilan ja vesiputkikattilan yhdistelmä, jollaiselle standardeissa ei ole määritelty veden laadun ohjeita. Lieriöttömässä kattilassa on käytettävä puhtaampaa vettä, joten korroosion ja kattilakiven muodostumisen ehkäisemiseksi kattilassa voisi olla lähtökohtaisesti sopivampaa käyttää vettä, joka täyttää läpivirtauskattilan syöttövedelle asetetut laatuarvot.

Kokeellisesti tulisi selvittää aiheutuisiko tuliputkikattilalle tehdyn standardin mukaisen syöttöveden käyttö oleellista kattilan käyttöiän lyhentymistä tai kunnossapitokustannusten nousua.

Talousvesi sellaisenaan ei sovellu kattilan syöttö- ja lisävedeksi. Talousveden käyttö vähentäisi vedenpuhdistuksen tarvetta, sillä karkeat ja kolloidiset epäpuhtaudet ovat poistettu jo vesilaitoksella. Tehtäväksi jäisi vain liuenneiden epäpuhtauksien poisto vaaditulle tasolle. Toisaalta on olemassa myös muita vaihtoehtoja valmiiksi puhdistetuista vesistä, kuten markkinoilla olevat akkuvedet, tislattut vedet tai voimalaitoksilla tuotettava lisävesi. Taloudellisimman vedentuotannon järjestelmän ja raakaveden valinta edellyttää hintavertailujen, kannattavuus- ja takaisinmaksulaskelmien tekemisen.

Yksi keskeinen pulma on se, ettei tarvittavaa lisäveden määrää voi tässä vaiheessa vielä tietää. Määrä vaikuttaa olennaisesti siihen onko lisävetä kannattavaa alkaa laitoksella puhdistamaan raakavedestä vai olisiko lisävesi järkevämpää hankkia valmiiksi puhdistettuna. Valmiiksi puhdistettu vesi ei vaatisi vedenkäsittelyjärjestelmään verrattuna yhtä suuria säilytystiloja ja investointeja, mutta toisaalta se voi tulla pitkällä aikavälillä myös kalliimmaksi ja sen säilyvyys voi aiheuttaa ongelmia, sillä puhdistettu vesi voi helposti esimerkiksi hapettua. Mikäli lisäveden tarve on hyvin pieni verrattuna syöttöveden määrään ja syöttövesi itsessään on jo hyvin puhdasta voi olla mahdollista, että suosituksista huolimatta lisävesi voisi olla epäpuhtaampaa kuin lisävedelle annetut ohjearvot. Tässä työssä ei ole huomioitu lauhdejärjestelmästä vesi-höyrypiiriin mahdollisesti tulevia epäpuhtauksia ja niiden aiheuttamaa lauhteenpuhdistuksen tarvetta ja -menetelmiä.

Todennäköisesti kannattavin vaihtoehto olisi hankkia käytettävä kattila- ja lisävesi paikallisista voima- tai lämpölaitoksilta. Voima- ja lämpölaitoksilla valmistetut lisävedet ovat yleensä puhtaampia mitä tutkittavan laitoksen paineluokan läpivirtauskattilat vaatisivat, johtuen voima- ja lämpölaitoksien suurempien käyttöpainneiden asettamista vaatimuksista. Lisäksi voima- ja lämpölaitoksilla seurataan

tarkasti tuotetun veden laatua. Selvitettäväksi jää kuinka kuljetus ja säilöntä ratkaistaan kustannustehokkaasti ja kuinka minimoidaan veden kontaminoituminen sekä hapen ja hiilidioksidin liukeneminen veteen säilytyksen aikana.

Työ on tehty kirjallisuusselvityksenä ja aiheesta löytyi hyvin tietoa. Esimerkiksi vedenkäsittelymenetelmistä ja syöttöveden valmistuksesta löytyi runsaasti tehtyjä opinnäyte- ja kandidaatintöitä. Haasteena työssä oli se, että selvitykset oli pääasiassa tehty suuremman kokoluokan kattiloille ja voimalaitoksille, jolloin epäselväksi jäi kuinka puhdasta vettä nimenomaan tämän kokoluokan ja tyyppin kattiloissa tulisi käyttää.

LÄHTEET

1. FMT – Micro Combined Heat and Power System for Households - H-CHP - projektin esittelykalvot.
2. Huhtinen, Markku – Kettunen, Arto – Nurminen, Pasi – Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. painos. Helsinki: Opetushallitus
3. Huhtinen, Markku – Korhonen, Risto – Pimiä, Tuomo – Urpalainen, Samu 2013. Voimalaitostekniikka. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus
4. Laiterä, Satu 2002. Vesikemia voimalaitosprosessissa. Teoksessa Voimalaitosten kunnossapito 2002: Kunnonvalvonta, Turbiinit, Vesikemia, Vauriot ja Korjaaminen. Tampere: Kunnossapitoyhdistys ry.
5. Korroosiokäsikirja 2006. 3. painos. Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 12. Rajamäki: KP-media Oy.
6. Lähde, Jussi 2015. Voimalaitosten kattilaputkien sisäpuolisten kerrostumien paksuuden mittaaminen ultraäänimenetelmällä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/118581/Diplomityö%20Jussi%20Lähde.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Hakupäivä: 8.4.2018.
7. Jantunen, Toni 2011. Kattilavesien laadun seuranta ja toimintaohje tuotantolinja 4:n kattilavesien happipitoisuuden hallitsemiseksi. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu, kemiantekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33181/LAADUN%20SEURANTA%20JA%20TOIMINTAOHJE%20TUOTANTOLINJA%204_N%20KATTILAVESIEN%20HAPPIPITOISUUDEN%20HALLITSEMISEKSI.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä: 8.4.2018.
8. Kotro, Eetu 2012. Vedenkäsittelyjärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikka

- kan koulutusohjelma. Saatavissa: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/90482/Kandidaattityö_Eetu_Kotro.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Hakupäivä: 15.3.2018.
9. Ruha, Tea 2011. Polttolaitoksen vedenkäsittely. Hydratsiinin korvaaminen vastaavalla kemikaalilla. Opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, sähkötekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/30998/Ruha_Tea.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä: 17.4.2018
10. SFS-EN 12952-12. 2003. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 12: laatuvaatimukset syöttö- ja kattilavedelle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
11. SFS-EN 12953-10. 2003. Tulitorvikattilat. Osa 10: Laatuvaatimukset syöttö- ja kattilavedelle. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
12. Säädos 1352/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151352>. Hakupäivä: 20.4.2018
13. Council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. 1998. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>. Hakupäivä: 20.4.2018.
14. Talousveden käyttötarkkailun tulokset. Oulun Vesi liikelaitos. Saatavissa: <http://www.oulunvesi.fi/talousveden-laatu-kuukausittain>. Hakupäivä: 20.4.2018
15. Talousveden puhdistus ja laatu. Oulun Vesi liikelaitos. Saatavissa: <http://www.oulunvesi.fi/veden-laatu>. Hakupäivä: 20.4.2018.
16. Vesi. 2017. THL. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi>. Hakupäivä: 26.4.2018.

17. Vedenkäsittelylaitteet. Saatavissa: <http://hyxo.fi/products/fin/vedenkaesittely-laitteet-3/>. Hakupäivä: 26.4.2018.
18. Kaivovesi. 2015. THL. Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/talousvesi/kaivovesi>. Hakupäivä: 26.4.2018.
19. Viima akkuvesi. 2018. IKH Oy. Saatavissa: <https://www.ikh.fi/fi/akkuvesi-10l-wka010>. Hakupäivä: 29.4.2018.
20. Akkuvesi. 2018. Motonet Oy. Saatavissa: <http://www.motonet.fi/fi/tuote/605724/Akkuvesi-5l-kanisteri>. Hakupäivä: 29.4.2018.
21. Tislattu vesi. 2018. Penli Oy. Saatavissa: <http://www.penli.fi/product/tislattu-vesidemineralised-water-laitepuhdistukseen/>. Hakupäivä: 29.4.2018.
22. Puhdasvesinäyte. 2017. Raahen vesi Oy. Saatavissa: <http://www.raahenvesi.fi/sites/raahenvesi.fi/files/Pääterveysasema%2021.4.2017.pdf>. Hakupäivä: 29.4.2018.
23. Estil-Ies, Joan – Soria, Manuel. Ei julkaisuvuotta. Reducing corrosion and potential boiler failure with superior iron transport technology. GE Infrastructure.

Muuttuja	Yksikkö	Läpivirtauskattila Syöttövesi	SFS		DENÅ		
			Tulitorvi-tuliputkikattila Syöttövesi	Kattilavesi	Läpivirtauskattila Syöttövesi ja lauhde		
					Ajotapa		
					Alkali	Kombi	Neutraali
Käyttöpaine	bar	Koko alue	>0,5...20	>0,5...20	-	-	-
Ulkonäkö	-	Kirkas, ei liukenevia aineita	Kirkas, ei liukenevia aineita	Kirkas, ei kuohumista	-	-	-
Suora sähkönjohtavuus, T = 25 °C	μS/cm	Ei määritelty	< 6000	< 6000	-	< 0,4...1	< 2,5
Kationivaihdettu sähkönjohtavuus, T = 25 °C	μS/cm	< 0,2	-	-	< 0,2	< 0,2	< 0,2
pH-arvo, T = 25 °C	-	7...10	> 9,2 (pehmenne- tylle vedelle > 7)	10,5...12,0	8,5...9,0	8,0...8,5	> 6,5
Natrium ja kalium (Na + K)	mg/l	< 0,010	-	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Rauta (Fe)	mg/l	< 0,020	< 0,3	-	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Kupari (Cu)	mg/l	< 0,003	< 0,05	-	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Silikaatti (SiO ₂)	mg/l	80...160 riippuen alkaliteetista	80...160 riippuen alkaliteetista	80...160 riippuen alkaliteetista	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Happi (O ₂)	mg/l	< 0,250	< 0,05	-	< 0,01	0,15...0,30	> 0,05
Orgaaniset aineet (TOC)	mg/l	< 0,20	mahd pieni	-	Ei osoitettavissa		
Kovuus (Ca + Mg)		-	< 0,01 mmol/l	-	< 0,001 mval/kg	< 0,001 mval/kg	< 0,001 mval/kg
Alkaliteetti	mmol/l	0,5-15	-	1,0-15	-	-	-

Muuttuja	Yksikkö	Lisävesi	Kattilavesi
Käyttöpaine	bar	Koko alue	Koko alue
Ulkonäkö	-	Kirkas, ei liukenevia aineita	Kirkas, ei liukenevia aineita
Suora sähkönjohtavuus, T = 25 °C	μS/cm	Ei määritelty	< 1500
pH-arvo, T = 25 °C	-	> 7,0	9,0...11,5
Kovuus (Ca + Mg)	mmol/l	< 0,05	-
Rauta (Fe)	mg/l	< 0,2	-
Kupari (Cu)	mg/l	< 0,1	-
Alkaliteetti	mmol/l	-	< 5
Silikaatti (SiO ₂)	mg/l	-	-
Happi (O ₂)	mg/l	-	-
Fosfaatti (PO ₄)	mg/l	-	-
Öljy-rasva	mg/l	< 1	-
Orgaaniset aineet	-	mahd vähän	-

Muuttuja	Yksikkö	Laki	Eurooppa	Oulun vesi	Raahen vesi
Ulkonäkö	-	Kuluttajien hyväksyttävissä, eikä epätavallisia muutoksia	-	ei huomautettavaa	ei huomautettavaa
Suora sähkönjohtavuus, T = 25 °C	mS/cm	< 2500 (suositus)	< 2500	180...190	114
Kationivaihdettu sähkönjohtavuus T = 25 °C	mS/cm	-	-	-	-
pH-arvo 25 °C lämpötilassa	-	6,5...9,5 (suositus)	-	8,4...8,5	7,8
Natrium ja kalium (Na + K)	mg/l	Natrium < 200	-	-	2,6
Rauta (Fe)	mg/l	< 0,2 (suositus)	< 0,2	0,0222...0,0369	7,1
Kupari (Cu)	mg/l	< 2 (suositus)	< 2,0	-	0,03
Silikaatti (SiO ₂)	mg/l	-	-	-	-
Happi (O ₂)	mg/l	Ei määritelty, suositus > 3	-	-	-
Orgaaniset aineet (TOC)	mg/l		.	-	-
Kokonaiskovuus (Ca + Mg)	mmol/l	Ei määritelty	-	0,70...1,25	0,5
Alkaliteetti	mmol/l	-	-	0,7	-